

ANALISIS KERJA *HIGH PRESSURE HEATER* TIPE *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* DI PLTU PT. PLN NUSANTARA POWER UPK NAGAN RAYA 2 X 110 MW

Annisa Aqila¹, Nelly Safitri², Suprihardi³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: aaqiladarman@gmail.com, nellysafitri@pnl.ac.id, suprihardi@pnl.ac.id

ABSTRAK

High Pressure Heater (HPH) adalah salah satu alat penukar kalor yang banyak digunakan pada industri salah satunya pembangkit listrik seperti PLTU UPK Nagan Raya yang menggunakan uap sebagai fluida kerja. HPH sendiri bekerja dengan cara mengubah fasa maupun temperatur fluida dengan fluida lainnya seperti hasil ekstraksi uap dari turbin. HPH berfungsi sebagai pemanas awal air umpan sebelum masuk ke boiler. Dengan beroperasinya HPH maka beban kerja boiler akan semakin ringan, karena air yang masuk ke boiler memiliki temperatur tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas pada HPH tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* dan menentukan performa efisiensi kerja dengan menggunakan metode perbedaan temperatur logaritmik (LMTD). Dari penelitian yang dilakukan maka ditentukan koefisien perpindahan panas total sebesar 62788,96 KW dan efisiensi terendah sebesar 5,86 % serta efisiensi tertinggi sebesar 90,8 %.

Kata-kata kunci: *Penukar Kalor, High Pressure Heater, Heat Exchanger, Efisiensi*

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi yang digunakan manusia. Banyaknya kebutuhan energi listrik di Indonesia mendesak pemerintah untuk membangun pembangkit energi listrik. Pembangkit listrik yang banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), selain dapat menghasilkan daya listrik relatif besar juga mudah untuk mendapatkan fluida utamanya. PLTU memanfaatkan energi panas dari uap dengan cara memanaskan air untuk mengubah fasa cair menjadi fasa uap untuk menghasilkan energi listrik.

Pembangkit listrik yang banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), selain dapat menghasilkan daya listrik relatif besar juga mudah untuk mendapatkan fluida utamanya. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari uap untuk memutar sudu turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator.[1][2]

PT PLN Nusantara Power pembangkit Nagan Raya adalah salah satu PLN pemasok listrik Sumatera sektor utara milik negara yang terletak di kabupaten Nagan Raya dengan luas 336,372 Hektar. Desa Suak Puntong, Kecamatan Kuala Pesisir. Pada mesin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dimiliki sektor Pembangkit Nagan Raya terdapat 2 unit PLTU, dengan daya terpasang yaitu sebesar 110 MW pada setiap unitnya. Menggunakan bahan bakar HSD.

Semakin besar kapasitas listrik yang dihasilkan maka semakin besar pula kapasitas uap yang dibutuhkan. Oleh karena itu kemampuan pembangkit listrik untuk tampil prima merupakan hal yang penting agar ketersediaan listrik di Indonesia tetap terjaga. Penukar panas atau dalam dunia industri dikenal dengan istilah *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan

terjadinya perpindahan panas dan dapat berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya medium pemanas memakai uap (*super heated steam*) sebagai pemanas, dan air biasanya sebagai pendingin (*cooling water*). Salah satu contoh alat penukar panas yang terdapat pada industri pembangkit listrik adalah High Pressure Heater (HPH).[3]

High Pressure Heater (HPH) adalah salah satu contoh alat penukar kalor yang banyak digunakan di industri pembangkit listrik yang berfungsi pembangkit listrik yang berfungsi sebagai pemanas air umpan sebelum masuk boiler. Media pemanas yang digunakan adalah uap panas yang hasil ekstraksi dari turbin.[4]

Alat penukar kalor *High Pressure Heater* (HPH) yang dipergunakan adalah tipe *shell and tube*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pada dasarnya, PLTU mengonversikan tenaga uap menjadi energi listrik. PLTU Nagan Raya menggunakan bahan bakar batu bara dan oil (solar). Pembakaran batu bara ini akan menghasilkan uap dan gas buang yang panas. Gas buang berfungsi juga untuk memanaskan pipa boiler yang berada di lapisan atas. Gas buang selanjutnya dialiri ke pembersih yang didalamnya terdapat alat pengendap abu setelah gas itu bersih lalu dibuang ke udara melalui cerobong. Batubara yang dibakar di sub sistem boiler menghasilkan panas yang digunakan untuk mengubah air dalam pipa yang dilewatkan ke boiler tersebut menjadi uap, Tenaga uap yang menjadi energi listrik tersebut berasal dari air yang telah melalui proses demineralisasi yang kemudian masuk pada jalur LPH dan HPH untuk memanaskan air

lebih awal. Air yang telah melalui dari LPH dan HPH kemudian masuk kedalam boiler sehingga berubah fasa dari cair menjadi fasa gas yaitu uap. Uap ini kemudian masuk pada HP Turbin dan LP Turbin dimana Uap yang masuk kedalam ruang turbin yaitu uap kering untuk memutar sudu-sudu turbin memiliki poros yang terhubung pada generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. pada PLTU Nagan Raya menggunakan boiler tipe CFB (*Circulating Fluidized Bed*). Fluida atau media kerja yaitu air yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang

B. Heat Exchanger

Heat Exchanger adalah suatu mesin yang digunakan untuk memindahkan panas antar dua fluida yang suhunya berbeda dengan sekat pemisah. Fluida adalah segala jenis zat yang dapat mengalir entah itu dalam wujud air atau gas. Prinsip kerja dari *heat exchanger* ini banyak digunakan pada dunia industri seperti pada pendingin pembangkit listrik, industri minuman bahkan pada kilang minyak.[5]

Maka dari itu *heat exchanger* ini juga sering disebut sebagai alat penukar panas atau alat penukar kalor dikarenakan cara kerjanya adalah untuk memindahkan energi thermal / panas ke fluida lainnya. Prinsip kerja *Heat Exchanger* yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda dimana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.[5]

C. High Pressure Heater

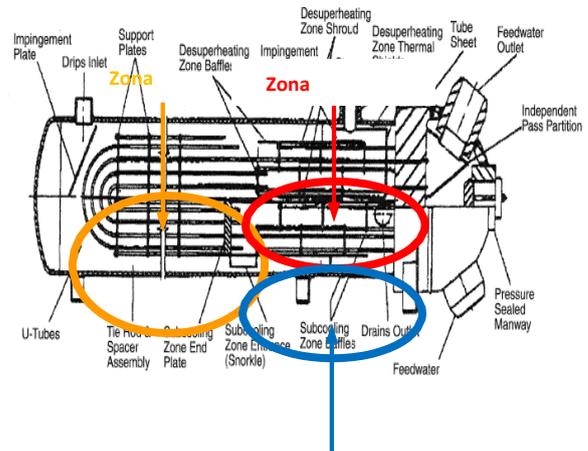
High pressure heater (HPH) merupakan salah satu alat penukar kalor yang banyak digunakan di industri pembangkit listrik yang berfungsi sebagai pemanas air umpan yang diolah pada feed water pump sebelum masuk ke *economizer* pada boiler. Media pemanas yang digunakan adalah uap panas hasil ekstraksi dari turbin. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah tube (*tube bundle*) di bagian dalam, dimana temperatur fluida di dalam tube bundle berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam *tube* dan diluar *tube*. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang luar dari *tube* disebut *shell side*. HPH memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga temperatur air pengisi yang masuk kedalam boiler, maka semakin baik nilai efisiensi dari HPH akan meningkatkan efisiensi dari boiler sehingga dapat menghemat biaya operasional harian dari PLTU.[6]

Dalam aplikasi di dunia industri HPH merupakan salah satu contoh alat penukar panas (*heat exchanger*) yang berfungsi mengubah temperatur fasa suatu jenis fluida. Jenis alat penukar panas yang digunakan pada penelitian adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*.



Gbr. 1 High Pressure Heater UPK Nagan Raya

Pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* (*high pressure heater*) memiliki tiga zona utama yaitu zona *Desuperheating*, zona *Condensing*, dan zona *Subcooling*. Zona *Desuperheating* adalah zona dimana uap panas lanjut yang masuk kedalam HPH akan mengalami penurunan temperatur hingga mencapai temperatur uap jenuh. Zona *Condensing* merupakan zona dimana uap jenuh mengalami perubahan fase menjadi cair jenuh, pada zona ini uap tidak mengalami perubahan temperatur tetapi hanya mengalami perubahan fase. Zona *Subcooling* merupakan zona dimana uap yang memanaskan *feedwater* berupa fase cair jenuh mengalami penurunan temperatur hingga mencapai temperatur *subcool*.



Gbr.2 High Pressure Heater UPK Nagan Raya

Pada Gambar 3 dapat dilihat bagian-bagian dan posisi zona-zona yang terdapat pada high pressure heater.

D. Analisis Perpindahan kalor

Seperti alat penukar kalor pada umumnya, *high pressure heater* dapat diukur kinerjanya dengan berbagai indikator. Indikator yang dipakai adalah laju perpindahan panas (Q), laju aliran uap ekstraksi (\dot{m}_h), effectiveness (ϵ), dan koefisien perpindahan kalor keseluruhan (U). Dalam menentukan nilai dari beberapa indikator di atas diperlukan data mengenai berbagai parameter, seperti tekanan, temperatur, dan laju aliran.

Laju perpindahan panas pada *high pressure heater* merupakan salah satu indikasi yang menunjukkan kinerja. Pada *high pressure heater* nilai laju perpindahan kalor dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h \tag{1}$$

Suatu fluida akan melepaskan atau menyerap panas yang besar pada temperatur konstan selama proses perubahan fasa.[7] Selain menggunakan laju perpindahan panas, kinerja HPH dapat ditentukan dengan mengamati besar laju aliran uap ekstraksi. Semakin besar uap ekstraksi yang diperlukan, artinya pasokan uap untuk penggerak turbin berkurang sehingga dapat merugikan. Pada perhitungan kinerja HPH, segala kerugian diabaikan sehingga berlaku persamaan *heat balance*. Laju aliran uap ekstraksi dapat dihitung menggunakan persamaan *heat balance* (ASME PTC, 2000)

$$Q_{air\ umpan} = Q_{uap\ ekstraksi}$$

$$\dot{m} \cdot c \cdot (h_2 - h_1) = \dot{m} \cdot h \cdot (h_3 - h_4)$$

$$\dot{m} \cdot h = \dot{m} \cdot c \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{(h_3 - h_4)}$$

Keterangan:

- $\dot{m} \cdot c$: laju aliran air umpan (kg/s)
- $\dot{m} \cdot h$: laju aliran uap ekstraksi (kg/s)
- h_1 : entalpi air umpan masuk (kJ/kg)
- h_2 : entalpi air umpan keluar (kJ/kg)
- h_3 : entalpi uap ekstraksi masuk (kJ/kg)
- h_4 : entalpi uap ekstraksi keluar (kJ/kg)

Dalam membandingkan nilai laju perpindahan kalor aktual dan laju perpindahan maksimal dibutuhkan nilai kapasitas kalor minimum (Cmin) dan kapasitas kalor maksimum (Cmax). Dalam menentukan Cmin dan Cmax dapat dihitung dengan nilai kapasitas kalor pada sisi air umpan (Cc) dan sisi uap ekstraksi (Ch).

$$C_c = \frac{\dot{C}(h_2 - h_1)}{(T_2 - T_1)}$$

$$C_h = \frac{\dot{C}(h_2 - h_1)}{(T_2 - T_1)}$$

Setelah nilai Cc dan Ch diketahui lalu dibandingkan, yang lebih besar ditentukan sebagai Cmax dan yang lebih kecil sebagai Cmin. Indikator lain yang dapat dilihat dari kinerja HPH adalah effectiveness (ε). Effectiveness merupakan angka yang menunjukkan perbandingan antar laju perpindahan kalor dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi. Nilai *effectiveness* berkisar antara nol dan satu, semakin mendekati satu maka kinerja HPH semakin baik dan sebaliknya. Persamaan untuk menentukan nilai *effectiveness* ditunjukkan pada persamaan:

$$\epsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maks}} \tag{2}$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) menunjukkan kemampuan HPH dalam memindahkan sejumlah kalor dalam tiap satuan luas, tiap satuan perbedaan temperatur, dan tiap satuan waktu. Semakin besar nilai U maka semakin baik kinerja dari HPH dan sebaliknya. Untuk mencari nilai U pada Persamaan 3.

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \text{LMTD}} \tag{3}$$

Dimana:

- Q : Laju perpindahan kalor (kJ/s)
- U : Koefisien perpindahan panas (Btu/hr ft²°F)
- A : Area perpindahan kalor (m²)
- F : Faktor koreksi
- LMTD : Log Mean Temperature Difference (°C)

Nilai-nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh disajikan dalam Tabel I. Perhatikan bahwa koefisien perpindahan panas menyeluruh berkisar dari 10 W/(m².oC) untuk penukar kalor gas ke gas hingga 10.000 W/(m².oC) untuk penukar kalor yang melibatkan perubahan fasa. Besar kecilnya nilai perpindahan panas menyeluruh disebabkan oleh konduktivitas termal fluida dan koefisien perpindahan konveksi.[8]

TABEL I
Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Dalam Penukar Kalor

Type of heat exchanger	U, W/m ² . C
Water to Water	850 – 1700
Water to oil	100 – 350
Water to gasoline or kerosene	300 – 1000
Feedwater heaters	1000 – 8500
Steam to light fuel oil	200 – 400
Steam condenser	1000 – 6000
Gas to gas	10 – 40
Water to air finned tubes (water in tubes)	30-60
Steam to air finned tubes (Steam in tubes)	400- 4000

III. METODOLOGI

A. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melaksanakan penelitian ilmiah harus dilakukan Teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan Langkah-langkah yang diambil. Begitu pula yang dilakukan dalam penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literatur yang diperoleh dari buku referensi dari Pustaka, akses internet dan bimbingan dari staf pengajar agar mendapatkan data-data yang berhubungan dengan permasalahan dalam penulisan proposal tugas akhir ini.

Dalam proses penyusunan skripsi ini menggunakan data operasional pada komponen yang dilakukan secara langsung dan tidak langsung, serta yang didapat dari literatur dimana dengan skripsi yang

diambil oleh penulis ini. Seperti pengumpulan data-data melalui CCR (*Central Control Room*), rendal OP, literatur buku atau *manual book*. Pengambilan data lapangan yang dilakukan di PT. PLN (Persero) UPK Nagan Raya 2x110 MW yang berkaitan dengan *high pressure heater* dari data harian operasional pada bagian Rendal OP, data spesifikasi sub-komponen, data desain, dan data *performance test*.

B. Data Spesifikasi High Pressure Heater

Berikut spesifikasi Teknik dari komponen *High Pressure Heater* tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* di PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya.

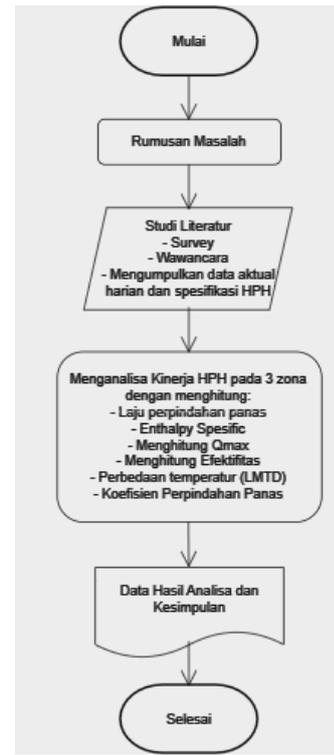
TABEL II
Spesifikasi Teknik komponen HPH

Name	Unit	Parameters	
Model pemanas		GJ-440-1	GJ-390-1
Tekanan desain (<i>pipe pass</i>)	Mpa	18	18
Temperatur desain (<i>pipe pass</i>)	°C	212	242
Tekanan desain (<i>shell pass</i>)	Mpa	2.1	3.7
Temperatur desain (<i>shell pass</i>)	°C	212/341	242/417
Perbedaan terminal air umpan	°C	0	0
Tekanan bukaan <i>safety valve</i> (<i>pipe pass</i>)	Mpa	17.5	17.5
Tekanan pembukaan katup pengaman (<i>shell pass</i>)	Mpa	2.05	2.05
Perbedaan terminal air pembuangan	°C	10	10
Area pertukaran panas	m ²	440	390
Bahan ruang air dari <i>pipe pass</i>		P355GH	P355GH
Bahan ruang air dari <i>shell</i>		16MnR	16MnR
Bahan pipa penukar panas		16Mo3	16Mo3
Bahan pelat tabung		20MnMoIV	20MnMoIV
Material pipa penyambung air umpan		2oMnMoIII	2oMnMoIII
Diameter pipa air umpan	mm	φ273 × 26	φ273 × 26
Nomor pipa setiap lintasan	Pipes	791	789
Margin pembukaan yang efektif dari pemanasan pemblokiran pipa yang diizinkan	%	5	5
<i>Medium pressure loss</i> melalui pemanas	Mpa	≤ 0.1	≤ 0.1
Maksimum kebocoran pipa dalam pemblokiran yang diizinkan	Pipes	50	50

C. Metode Pengolahan dan Analisis Data

Metode pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan mendata nilai operasi harian dari *high pressure heater* dan mendata nilai konfigurasi. Adapun metode analisis yang dilakukan yaitu dengan menghitung laju perpindahan panas pada 3 zona yaitu zona *condensing*, *desuperheating*, dan *subcooling*. Menentukan nilai *enthalpy* spesifik, menghitung laju perpindahan panas maksimal, menghitung efektifitas, menentukan perbedaan temperatur rata-rata dengan metode LMTD, serta menghitung koefisien perpindahan panas.

D. Flowchart Penelitian



Gbr. 3 Flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Spesifikasi High Pressure Heater

Berdasarkan data commissioning yang diperoleh dari CCR PLTU unit 1 pada tabel 3 berikut:

TABEL III
Data commissioning HPH

Parameters/ Item	Satuan	Data Aktual
Load	MW	93, 726
Feedwater T in,	°C	180,77
Feedwater T out,	°C	224,7
Feedwater Flow	Kg/s	361,159
Feedwater Pressure	MPa	7,741
Extraction Steam T in,	°C	412,6
Drain Heater T out,	°C	190
Extraction Steam Pressure	MPa	2,68

D luar tube	= 0,016 m
D dalam tube	= 0,0124 m
Panjang Tabung	= 9,265 m
Jumlah tube	= 791 buah
Luasan perpindahan panas total	= 440 m ²
Luasan desuper heating zone	= 121,54 m ²
Luasan condensing zone	= 246,16 m ²
Luasan drain cooling zone	= 73,5 m ²

B. Perhitungan Kalor (Q) dan efisiensi (ε) HPH

1. Mencari *Enthalpy Spesific Sisi Steam*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7th*.

- Sisi masuk steam
 Harga enthalpy spesifik (h) dapat dihitung
 $P_h = 2,68 \text{ Mpa}$
 $T_1 = 412,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Tekanan yang diketahui berada antara 2,0 dan 3,0 MPa sedangkan temperatur berada di antara 400 °C dan 440 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga enthalpy specific.

Pada tekanan 3,0 MPa.

$$h_1 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_1 = \frac{(412,6 - 400)(3321,5 - 3230,9)}{(440 - 400)} + 3320,9$$

$$h_1 = 3259,44 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi keluar steam
 Harga enthalpy specific (h) dapat dihitung
 $h_2 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')}$
 $h_2 = \frac{(190 - 180)(852,76 - 763,901)}{(200 - 180)}$
 $h_2 = 808,33 \text{ kJ/kg}$

- Mencari temperatur pengembunan (*Tsat*)
 Harga *Tsat* dapat diketahui dengan melihat (Tabel A-3 terlampir)
 $P_h = 2,68 \text{ MPa} = 26,8 \text{ bar}$. Sehingga *Tsat* = 233,90 °C

- Mencari *Enthalpy Spesifik Pada Tsat*
 Harga enthalpy specific fluida dihitung
 $T_{sat} = 212,4 \text{ }^\circ\text{C}$
 Nilai *Tsat* berada di antara temperatur 230 °C dan 240°C sehingga perlu dilakukan interpolasi. Pada kondisi ini nilai enthalpy specific yang dicari ada dua yaitu *hsat,f* dan *hsat,g*.

Mencari nilai *hsat,f*

$$hsat, f = \frac{(T-T')(hsat,f' - hsat,f'')}{(T''-T')} + hsat, f''$$

$$hsat, f = \frac{(233,90 - 230)(1037,3 - 990,12)}{(240 - 230)} + 990,12$$

$$hsat, f = 1008,52 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai *hsat,g*

$$hsat, g = \frac{(T-T')(hsat,g' - hsat,g'')}{(T''-T')} + hsat, g''$$

$$hsat, g = \frac{(233,90 - 230)(2803,8 - 2804,0)}{(240 - 230)} + 2804,0$$

$$hsat, g = 2803,92 \text{ kJ/kg}$$

2. Mencari *Enthalpy Spesific Sisi Feedwater*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7th*.

- Sisi masuk *feedwater*
 Harga enthalpy specific (h)
 $P_c = 7,741 \text{ Mpa}$
 $T_A = 180,77 \text{ }^\circ\text{C}$

Tekanan diketahui berada di antara tekanan 10 MPa dan 15 MPa sedangkan temperatur berada di antara 140 °C dan 180 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga enthalpy specific.

Pada tekanan 7,5 MPa

$$h_A' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_A' = \frac{(180,77 - 180)(945,1 - 766,55)}{(220 - 180)} + 766,55 = 769,98 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 10 MPa

$$h_A'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_A'' = \frac{(180,77 - 180)(945,9 - 767,84)}{(220 - 180)} + 767,84 = 771,26 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga enthalpy specific pada tiap tekanan maka harga enthalpy specific data commissioning adalah :

$$h_A = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_A = \frac{(7,741 - 7,5)(771,26 - 769,98)}{(220 - 180)} + 769,98 = 769,987 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi Keluar *Feedwater*
 Harga enthalpy specific (h) dapat dihitung :
 $P_c = 7,741 \text{ Mpa}$
 $T_D = 224,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Mencari enthalpy specific sisi out drain (Tabel A-5 terlampir) Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 10 MPa dan 15 MPa sedangkan temperatur berada di antara 180 °C dan 220 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga enthalpy specific.

Pada tekanan 7,5 MPa

$$h_D' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D' = \frac{(224,7 - 220)(1134 - 945,1)}{(260 - 220)} + 945,1 = 967,29 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 10 MPa

$$h_D'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D'' = \frac{(224,7 - 220)(1133,7 - 945,9)}{(260 - 220)} + 945,9 = 967,96 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga enthalpy specific pada tiap tekanan maka harga enthalpy specific data commissioning adalah :

$$h_D = \frac{(P - P')(h'' - h')}{(T'' - T')} + h'$$

$$h_D = \frac{(7,741 - 7,5)(967,96 - 967,29)}{(10 - 7,5)} + 967,29 = 967,360 \text{ kJ/kg}$$

3. Menghitung Laju Aliran Uap

$$\begin{aligned} \dot{m}_s (h_1 - h_2) &= \dot{m}_w (h_D - h_A) \\ \dot{m}_s &= \dot{m}_w \frac{(h_D - h_A)}{(h_1 - h_2)} \\ \dot{m}_s &= 346,159 \frac{(967,360 - 769,987)}{(3259,44 - 808,33)} = 27,87 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Subcooling Zone

- Menghitung laju perpindahan panas (Q)
 Q_s (drain cooling zone) = $\dot{m}_s (h_{sat,f} - h_2)$
 Q_s (drain cooling zone) = 27,87 (1008,52 - 808,33)
 Q_s (drain cooling zone) = 55,79 KW
- Menghitung enthalpy specific out feedwater pada drain cooling zone
 Q_s (draincooling zone) = Q_w (draincooling)

$$\begin{aligned} \dot{m}_s (h_{sat,f} - h_2) &= \dot{m}_w (h_B - h_A) \\ h_B &= \frac{Q_s}{\dot{m}_w} + h_A = \frac{55,79,2953}{346,159} + 769,98 = 786,09 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Mencari temperatur *feedwater out*

	Hot		Cold	
Zona perpindahan panas	in	out	in	
Subcooling zone	Tsat	T2	TA	TB

Dalam mencari TB dapat dicari menggunakan tabel (A-2 terlampir) dengan nilai hB. Pada tabel berikut ditampilkan distribusi temperatur TB terhadap enthalpy specific data commissioning.

Temperatur (°C)	Enthalpy specific (kJ/kg)
180	763,22
T _B	786,09
190	807,62

$$\begin{aligned} T_B &= \frac{(h - h')(T'' - T')}{(h'' - h')} + T' \\ &= \frac{(786,09 - 763,22)(807,62)}{(190 - 180)} + T' = 195,54 \text{ °C} \end{aligned}$$

Setelah nilai TB diketahui kemudian tentukan kapasitas fluida dingin dan fluida panas:

$$C_s = \frac{Q_s \text{ (draincooling)}}{(T_B - T_A)} = \frac{786,09}{(195,54 - 180,77)} = 46,87 \text{ kJ/s °C}$$

$$C_w = \frac{Q_w \text{ (draincooling)}}{(T_{sat} - T_A)} = \frac{786,09}{(233,90 - 190)} = 17,90 \text{ kJ/s °C}$$

Sehingga $C_w < C_s$

$C_w = C_{min}$

$C_s = C_{max}$

- Menghitung Qmax
 $Q_{max} = C_{min} (T_{sat} - T_A)$
 $= 17,90 (233,90 - 180,77)$
 $= 951,027 \text{ KW}$
- Menghitung efektifitas (ϵ)
 Nilai efektifitas dari draincooling zone HPH dapat diperoleh :
 $\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \times 100\%$
 $\epsilon = \frac{55,79}{951,027} \times 100\% = 5,86\%$

- Menghitung perbedaan temperatur rata-rata (LMTD)

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{sat} - T_B \\ \Delta T_1 &= 233,90 - 195,54 = 38,36 \text{ °C} \\ \Delta T_2 &= T_2 - T_A \\ \Delta T_2 &= 190 - 180,77 = 9,23 \text{ °C} \\ \Delta T_{LMTD} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{38,36 - 9,23}{\ln \left(\frac{38,36}{9,23} \right)} = 20,45 \text{ °C} \end{aligned}$$

Mencari nilai faktor koreksi (F) dengan memperhatikan nilai P dan R

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{195,54 - 180,77}{233,90 - 180,77} = 0,27 \\ R &= \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{233,90 - 190}{195,54 - 180,77} = 2,97 \end{aligned}$$

Dengan melihat grafik nilai faktor koreksi adalah

$$\begin{aligned} LMTD &= LMTD \times F \\ LMTD &= 20,45 \text{ °C} \times 1 \\ LMTD &= 20,45 \text{ °C} \end{aligned}$$

- Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

$$\begin{aligned} U &= \frac{Q}{A.F.LMTD} \\ U &= \frac{55,79}{73,5 \cdot 1 \cdot 20,45} = 0,04 \frac{KW}{m^2 \cdot \text{°C}} = 40 \frac{W}{m^2 \cdot K} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Condensing Zone

- Menghitung laju perpindahan panas (Q)
 Karena pada daerah *condensing zone* bekerja pada tekanan konstan (27,87 MPa), maka untuk laju perpindahan panasnya dapat dicari dari selisih *enthalpy specific* dengan perkalian laju aliran massa *steam*.
 Q_s (condensing zone) = $\dot{m}_s (h_{sat,g} - h_{sat,f})$
 Q_s (condensing zone) = 27,87 (2803,92 - 1008,52)
 Q_s (condensing zone) = 50037,798 KW

Menghitung *enthalpy specific out feedwater* pada *drain cooling zone*

$$Q_s \text{ (draincooling zone)} = Q_w \text{ (draincooling)}$$

$$m_s (h_{sat,g} - h_{sat,f}) = m_w (h_C - h_B)$$

$$h_C = \frac{Q_s}{m_w} + h_B = \frac{50037,798}{346,159} + 786,09 = 930,64 \text{ kJ/kg}$$

- Mencari temperatur *feedwater out*
Distribusi temperatur yang terjadi pada subcooling zone

Zona perpindahan panas	Hot		Cold	
	in	out	in	out
Subcooling zone	Tsat	T2	TA	TC

Dalam mencari TC dapat dicari menggunakan nilai hB. Pada tabel dibawah ditampilkan distribusi temperatur TC terhadap *enthalpy spesific data commisioning*.

TABEL IV
Nilai distribusi temperatur

Temperatur (°C)	Enthalpy spesific (kJ/kg)
180	763,22
T _B	786,09
190	807,62

$$TC = \frac{(h-h')(T''-T')}{(h'-h')} + T'$$

$$= \frac{(930,64-897,76)(943,62-897,76)}{(220-210)} + T'$$

$$= 237,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Setelah nilai TB diketahui kemudian tentukan kapasitas fluida dingin dan fluida panas:

$$C_s = \frac{Q_s \text{ (condensing)}}{(T_{sat}-T_{sat})} = \frac{50037,798}{(233,90-233,90)} = \infty$$

$$C_w = \frac{Q_w \text{ (draincooling)}}{(TC-TB)} = \frac{50037,798}{(237,28-195,54)} = 1198,79 \text{ Kj/s } ^\circ\text{C}$$

Sehingga $C_w < C_s$
 $C_w = C_{min}$
 $C_s = C_{max}$

- Menghitung Q_{max}
 $Q_{max} = C_{min} (T_{sat} - TB)$
 $= 1198,79 (233,90 - 195,54)$
 $= 45985,58 \text{ KW}$
- Menghitung efektifitas (ε)
 Nilai efektifitas dari condensing zone HPH dapat diperoleh :
 $\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \times 100\%$
 $\epsilon = \frac{50037,798}{45985,58} \times 100\% = 80,95\%$

- Menghitung perbedaan 231

- actor 231 ture rata-rata (LMTD)
 $\Delta T_1 = T_{sat} - T_C$
 $\Delta T_1 = 237,28 - 233,90 = 3,38 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $\Delta T_2 = T_2 - T_A$
 $\Delta T_2 = 233,90 - 195,54 = 38,36 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{38,36 - 3,38}{\ln \left(\frac{38,36}{3,38} \right)} = 14,40 \text{ } ^\circ\text{C}$

Mencari nilai 231 actor koreksi (F) dengan memperhatikan nilai P dan R

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{237,28-195,54}{233,90-195,54} = 1,08$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{233,90-233,90}{237,28-195,54} = \infty$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 20,45 \text{ } ^\circ\text{C} \times 0,5$$

$$LMTD = 7,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot LMTD}$$

$$U = \frac{50037,798}{246,16 \cdot 0,5 \cdot 7,2} = 5,64 \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 5646 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

6. Perhitungan Desuperheating Zone

- Menghitung laju perpindahan panas (Q)
 Karena pada daerah *desuperheating zone* bekerja pada tekanan konstan (27,87 Mpa), maka untuk laju perpindahan panasnya dapat dicari dari selisih *enthalpy spesific* dengan perkalian laju aliran massa *steam*.

$$Q_s \text{ (desuperheating zone)} = m_s (h_A - h_{sat,g})$$

$$Q_s \text{ (desuperheating zone)} = 27,87 (3259,44 - 2803,92)$$

$$Q_s \text{ (desuperheating zone)} = 12695,34 \text{ KW}$$

$$Q_w \text{ (desuper heating)} = \dot{m}_w (H_d - H_c)$$

$$Q_w \text{ (desuper heating)} = 346,159 (967,360 - 930,64)$$

$$Q_w \text{ (desuper heating)} = 12710,95 \text{ KW}$$

$$Q_w \text{ (desuper heating)} > Q_s \text{ (desuper heating)}$$

$$C_w = \frac{Q_w \text{ (desuperheating)}}{(T_{feedwater out} - TC)} = \frac{12710,95}{(224,7-237,28)}$$

$$= 1010,40 \text{ Kj/s } ^\circ\text{C}$$

$$C_s = \frac{Q_s \text{ (desuperheating)}}{(TC-TB)} = \frac{12695,34}{(412,6-233,90)} = 71,04 \text{ Kj/s } ^\circ\text{C}$$

Sehingga $C_s < C_w$
 $C_s = C_{min}$
 $C_w = C_{max}$

- Menghitung Q_{max}
 $Q_{max} = C_{min} (T_{in} - T_c)$
 $= 71,04 (412,6 - 237,28)$

$$= 12454,73 \text{ KW}$$

- Menghitung efektifitas (ϵ)
 Nilai efektifitas dari condensing zone HPH dapat diperoleh :

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \times 100\%$$

$$\epsilon = \frac{12454,73}{12695,34} \times 100\% = 90,8\%$$

- Menghitung perbedaan 232actor232ture rata-rata (LMTD)

$$\Delta T_1 = T_1 - T_D$$

$$\Delta T_1 = 412,6 - 224,7 = 187,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{sat} - T_c$$

$$\Delta T_2 = 233,90 - 237,28 = 3,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{187,9 - 3,38}{\ln \left(\frac{3,38}{187,9} \right)} = 45,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mencari nilai 232actor koreksi (F) dengan memperhatikan nilai P dan R

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{224,7 - 237,28}{412,6 - 237,28} = 0,07$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{412,6 - 233,90}{187,9 - 237,28} = -3,61$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 45,92 \text{ }^\circ\text{C} \times 1$$

$$LMTD = 45,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot LMTD}$$

$$U = \frac{12695,34}{121,54 \cdot 1 \cdot 45,92} = 2,27 \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C} = 2270 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

7. Menghitung Q Total

$$Q_{total} = Q_{subcooling} + Q_{condensing} + Q_{desuperheating}$$

$$Q_{total} = 55,79 + 50037,798 + 12695,34$$

$$Q_{total} = 62788,96 \text{ KW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat maka nilai laju perpindahan panas keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

TABEL V
Laju perpindahan panas

Properti	Nilai	Satuan
$Q_{subcooling}$	55,79	kW
$Q_{condensing}$	50037,798	kW
$Q_{desuperheating}$	12695,34	kW
Q_{total}	62788,96	kW

Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold	
	$T_{in} (^{\circ}C)$	$T_{out} (^{\circ}C)$	$T_{in} (^{\circ}C)$	$T_{out} (^{\circ}C)$
Subcooling zone	Drain _{out} = 190	$T_{sat} = 223,90$	$FWT_{in} = 180,77$	$T_B = 195,54$
Condensing zone	$T_{sat} = 223,90$	$T_{sat} = 223,90$	$T_B = 195,54$	$T_c = 237,28$
Desuperheating zone	$T_{sat} = 223,90$	$T_{in} = 412,6$	$T_c = 237,28$	$FWT_{out} = 224,7$

C. Dampak Performa Kinerja HPH

Berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan kinerja HPH pada 3 zona yaitu *subcooling*, *condensing*, dan *desuperheating* serta hasil dari perhitungan efisiensi performa HPH diketahui bahwa komponen ini merupakan salah satu komponen penting untuk meningkatkan efisiensi performa kerja boiler dan sebagai salah satu alternatif biaya bahan bakar ekonomis. Hal ini dibuktikan dengan fakta bahwa semakin rendah efisiensi kerja HPH maka akan semakin berkurang pula efisiensi kerja boiler, namun hal ini dapat dicegah dengan penambahan batu bara sebagai bahan bakar utama untuk pemanasan boiler.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data aktual pada High Pressure Heater unit pembangkit Nagan Raya maka dapat disimpulkan :

1. Laju perpindahan panas pada area subcooling sebesar 55,79 KW, pada condensing sebesar 50037,798, dan pada desuperheating sebesar 12695,34 KW.
2. Hasil laju perpindahan panas total (Qpp) sebesar 62788,96 KW.
3. Hasil efektifitas (ϵ) pada subcooling zone sebesar 5,86 %, pada condensing zone yaitu sebesar 80,95% dan pada desuperheating zone yaitu sebesar 90,8 %
4. Dari hasil Analisa laju perpindahan panas (Q) dan efisiensi (ϵ) pada tiap zona dapat disimpulkan bahwa perlu dilakukan pembersihan pada HPH.

REFERENSI

- [1] Abd, A. A., Kareem, M. Q., & Naji, S. Z. (2018). **Performance analysis of shell and tube heat exchanger: Parametric study**. Case studies in thermal engineering, 12, 563-568.
- [2] Andalucia, S. (2022). **Analisis Perpindahan Panas Heat Exchanger Tipe Shell and Tube pada Gas Turbine Generator**. petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan, 11(4), 181-190.
- [3] Burmawi, B., Mulyanef, M., & Saputra, A. P. (2021). **Analisa Unjuk Kerja dari Heat Exchanger Tipe Shell and Tube Menggunakan Air Sebagai Fluida Panas dan Fluida Dingin (performance analysis of shell and tube heat exchanger using water as hot and cold fluid)**. Menara Ilmu, 15(1).
- [4] Gahana, D. (2018). **Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) Tipe Shell and Tube Heat Exchanger**. Journal of Science and Applicative Technology, 2(2), 23-33.
- [5] Junsupratyo, R., Sappu, F. P., & Lakat, A. M. (2018). **Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater (Hph) Tipe Vertikal U Shape Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1**. JURNAL POROS TEKNIK MESIN UNSRAT, 7(1).
- [6] Lumbantobing, L. H., & Sutrisno, J. (2021). **Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 Ptu Pangkalan Susu Operation And Maintenance**. Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 2(2), 54-61.
- [7] Rusjdi, H., Prabowo, E., & Rian, W. (2016). **Analisis Perpindahan Kalor High Pressure Heater PLTU Banten 3 Lontar Unit 1**. Jurnal Power Plant, 4(3), 122-210.
- [8] Sinaga, G. G. (2019). **Analisis Efektivitas High Pressure Heater Pada Unit 4 PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Belawan** (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).